变化环境下黄河流域河流健康诊断研究

张金良，金鑫*，赵梦龙，罗秋实，鲁俊
（黄河勘测规划设计研究院有限公司，河南省 郑州市 邮编450003）

摘要：黄河是中华民族的母亲河，水沙关系不协调、洪水灾害频繁，一直是黄河流域治理的主要难题。近年来黄河来水来沙减少，水沙关系发生深刻变化，极端气候事件频发，黄河河道边界条件发生了较大的变化，沿黄地区经济社会快速发展，变化环境下开展黄河流域河流健康诊断尤为必要。本研究采用信息熵和熵权法等方法研究黄河流域河流健康发展演变特征。结果表明：（1）分析河流系统健康程度，1980年~1986年黄河流域河流系统总体趋于健康状态，1987年~1999年河流系统总体表现为不健康，2000年~2019年整个河流系统又向着有序、健康方向发展；（2）分析河流健康指数趋势发现，1980年~1984年河流系统向好发展，1984年~1996年河流系统呈现出越来越不健康的趋势，1996年~2019年河流系统呈现出向好发展态势；（3）1986年以前河流系统敏感因子为宁蒙河段主河槽过洪能力，1987年~1999年期间敏感因子为宁蒙河段主河槽过洪能力和花园口总水量，21世纪以来敏感因子为黄河下游总冲淤量和来沙量；黄河下游总冲淤量和宁蒙河段主河槽过洪能力为整个时期的敏感因子。研究结果可为黄河流域生态保护和高质量发展提供支撑。

关键词：河流系统；河流健康指数；信息熵；熵权法；黄河流域
中图分类号： **文献标识码：**A

1 引言

河流系统是涵盖水资源、洪水、泥沙等要素的庞大系统，要素众多，各要素之间、要素与系统之间、河流系统与其他系统之间关系错综复杂。河流健康概念是对人类自身身体健康概念认识的生物学和生态学扩展[1]，河流健康问题是水治理领域的重要研究内容。

黄河是中华民族的母亲河，流域横跨我国东中西部，是连接青藏高原、黄土高原、华北平原的生态廊道，构成我国重要的生态屏障和经济地带，是打赢脱贫攻坚战的重要区域，对于保障国家生态安全、能源安全、经济安全、粮食安全具有举足轻重的战略地位。黄河水少沙多、水沙关系不协调、洪水灾害频繁，一直黄河流域复杂难治的症结所在。2019年9月18日，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话，指出洪水风险依然是流域的最大威胁，流域水资源保障形势严峻，发展质量有待提高，提出要保障黄河长治久安、推进水资源节约集约利用、推动黄河流域高质量发展，发出“让黄河成为造福人民的幸福河”的伟大号召。习总书记的重要批示指示对黄河流域河流健康提出了更高要求。近年来黄河来水来沙减少，水沙关系发生深刻变化，极端气候事件频发，黄河河道边界条件发生了较大的变化，沿黄地区经济社会快速发展，变化环境下开展黄河流域河流健康诊断尤为必要。

河流健康诊断方法众多，近年来随着应用数学的发展，诸多综合方法被应用于实际评价工作中，如主成分分析[2]、因子分析[3]、综合评价指数法[4]、模糊综合评价[5]、灰色关联度评价[6]、模糊集对模型[7]、数据包络分析(DEA)[8]、多维标度法[9]、突变级数法[10]、拉开档次法[11]、ELECTRE[12]等，还有一些是通过这些方法耦合后得到的方法，这些方法各具特色，适用于不同的问题。在确定指标权重时，通常采用主观赋权法或者客观赋权法。主观赋权法依据经验，能够表达决策者的偏好，具有较强的主观能动性，但是缺少严密的数学推导公式，理论依据不足，常见的有德尔菲法[13]、层次分析（AHP）法[14]、二元比较法[15-16]

本文系中国工程院咨询研究项目（项目编号：2019-XZ-65）的研究成果之一。

等；客观赋权法依据理论，具有严密的数学推导过程，能够挖掘出潜藏在数据集内部的客观规律，消除权重确定时的任意性，却不能体现决策者的偏好和意愿，常见的有最大离差法[17]、CRITIC法[18]、熵权法[19]等。总体而言，国内外近些年的研究虽然对河流健康问题有所考虑，但其诊断或评价方法并未从系统论的角度出发研究整个河流系统，或是指标体系权重确定过于主观，而不适用于黄河流域复杂的水沙关系条件。

在变化环境大背景下，本文基于以往研究成果，结合黄河流域新形势变化，从系统论的角度出发，考虑水资源、洪水、泥沙三个方面，选取年降水总量、总水量、主河槽过洪能力、来沙量、总淤积量、水沙关系协调度6个关键指标，通过熵权法计算得到河流健康指数（River Health Index, RHI），采用信息熵和熵权法等方法研究黄河流域河流健康发展演变特征，为黄河流域生态保护和高质量发展提供支撑。

2 研究区域、数据与方法

2.1 研究区域

黄河是中华民族的母亲河，是中华文明的发祥地。黄河流域干流全长5464km，流域面积79.5万km^2。流域横跨我国东中西部，连接青藏高原、黄土高原、华北平原。黄河流域水少、沙多、水沙关系不协调。宁蒙河段、小北干流、黄河下游河段是黄河流域冲淤变化比较剧烈的河段，其中宁蒙河段、黄河下游河段人口密集，农田分布较广，是黄河防洪治理的重点河段。本研究选取宁蒙河段和黄河下游河段为典型河段。黄河流域图如下图所示。

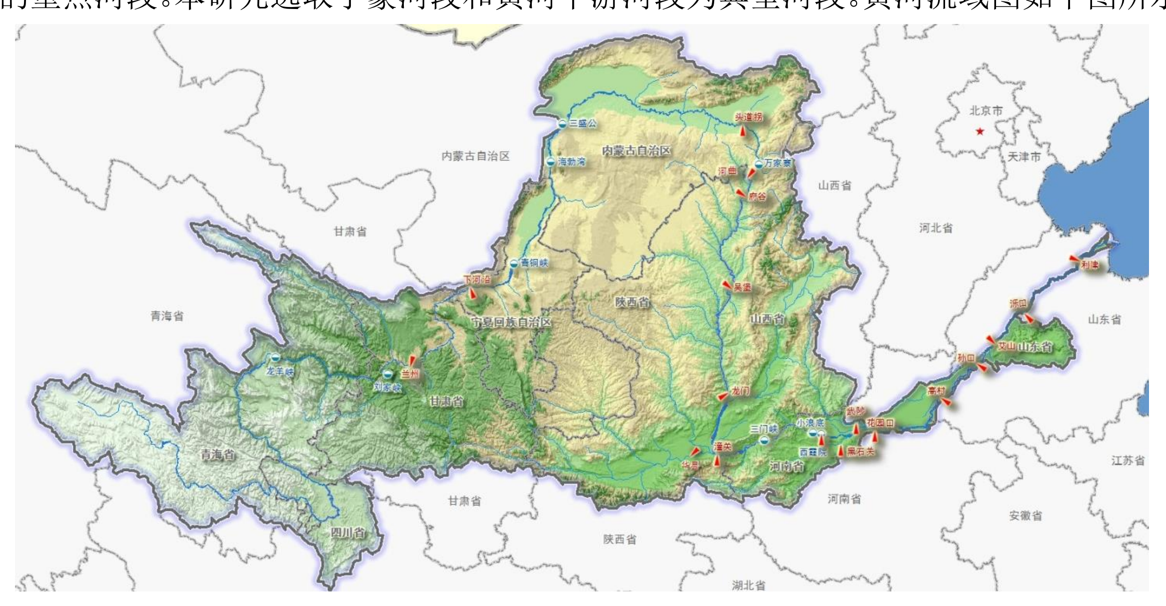


图1　黄河流域图

2.2 研究数据

河流在人类社会发展过程中起着无法替代的重要作用。河流系统是一个耗散结构，河流系统指标的选择，应在分析河流系统特点、存在问题和治理目标的基础上，按照科学、独立、客观、可操作的原则，参考有关研究成果提出。聚焦黄河流域，本研究遴选年降水总量、总水量（花园口、头道拐）、来沙量、主河槽过洪能力（宁蒙河段、黄河下游）、总淤积量（宁蒙河段、黄河下游）、水沙关系协调度等几个河流系统指标，具体如下。

（1）年降水总量

年降水总量是指一年内降落到某一指定区域的水量。年降水总量越大，说明来水越丰沛，对系统越有利，越优。年降水总量的计算公式如下。

$$W = P \cdot A \tag{1}$$

式中：W为年降水总量；P为年平均降水量；A为流域面积。

（2）总水量

总水量是指一年内通过河流某一过水断面的水量，也称年径流量。总水量能够表征系统的可用水量，总水量越大，说明来水越丰沛，对系统越有利，越优。总水量指标能够表征系统的可用水量，本研究分别统计花园口和头道拐断面的总水量。

（3）来沙量

来沙量是指一年内输入系统内的沙量。来沙量越小，进入系统内的沙量越少，河道越不易淤积，对系统越有利，越优。

（4）主河槽过洪能力

主河槽过洪能力关系着河流防洪安全和幸福河建设。主河槽过洪能力越大越好，过洪能力太小，不利于河道行洪，洪水灾害风险增加。黄河流域横跨九省区，跨度较大，不同河段的主河槽过洪能力差距较大，本研究分别统计宁蒙河段和黄河下游两个典型河段的主河槽过洪能力。

（5）总冲淤量

总冲淤量指标能够表征河流的冲刷和淤积程度，进而反映河流健康状况。总冲淤量大于零，表示淤积；小于零，表示冲刷。总冲淤量越小越好，总冲淤量过大，河床抬升，危及两岸安全。黄河流经不同的自然地理单元，流域地形地貌和气候条件差别很大，不同河段的冲刷淤积特点不同，本研究选择宁蒙河段和黄河下游两个典型河段，分别统计河流总冲淤量。

（6）水沙关系协调度

协调的水沙关系是指长时段内维持河道(主槽)不淤或微淤的水沙搭配过程。黄河具有水少沙多、水沙异源、水沙关系不协调的特点。以水沙关系协调度[20]来表征黄河流域的水沙协调程度，水沙关系协调度计算公式如下。

$$C_{un}(i)=\frac{\xi_i}{\xi_T} \tag{2}$$

$$\xi_i=\frac{S_i}{Q_i} \tag{3}$$

式中：$C_{un}(i)$为研究河段水沙关系的水沙关系协调度，该值小于或等于 0 表示水沙关系不协调，大于 0 表示水沙关系相对协调，值越大协调度越高；i 为河段编号；ξ_i 为河道实际来沙系数；ξ_T 为河道输沙平衡临界来沙系数，宁蒙河段取 0.003kg•s/m^6，黄河下游取 0.001kg•s/m^6；S_i 为悬沙含沙量；Q_i 为流量。

河流系统健康因子如下表1所示。

表1　河流系统健康因子

序号	指标名称	单位	数据来源
1	年降水总量	亿m^3	沿黄九省区年降水总量之和
2	总水量	亿m^3	中华人民共和国水文年鉴黄河流域水文资料
3	来沙量	亿m^3	中华人民共和国水文年鉴黄河流域水文资料

序号	指标名称	单位	数据来源
4	主河槽过洪能力	m^3/s	《宁蒙河段二期综合治理工程》、《年度黄河防凌预案》、《黄河下游河道排洪能力分析报告》成果
5	总冲淤量	亿m^3	《宁蒙河段二期综合治理工程》、《小浪底水库初期运用方式研究报告》成果，黄河水利委员会水文局提供成果
6	水沙关系协调度	/	中华人民共和国水文年鉴黄河流域水文资料

2.3 研究方法

（1） 基于可能度函数的新型信息熵

1948年，C.E.Shannon（香农）提出了“信息熵”的概念[21]，解决了对信息的量化度量问题。信息熵是香农从热力学中借用过来的，热力学中的热熵是表示分子状态混乱程度的物理量，香农用信息熵的概念描述信源的不确定度。

根据灰色理论，灰数是取值信息不明确的一类数值，需要借助可能度函数（Possibility Function）描述其取不同数值区间的可能性大小。在研究中，我们根据实际情况，确定指标标准的可能度函数，以及函数取值区间的起点和终点。起点终点确定的左升、右降连续函数即为典型的可能度函数。

基于每个指标取值的可能度函数分布，计算该指标的信息熵，得到的信息熵代表了该指标相对于对应的业内指标发展标准的离散程度。信息熵用下式求得：

$$S=-\frac{1}{\ln n}\sum_{k=1}^{n}\left(p_k\cdot\ln p_k\right) \quad （4）$$

$$p_k=\frac{f^k}{\sum_{i=1}^{n}f^i} \quad （5）$$

式中：n代表指标值标准区间的个数； p_k代表各标准白化可能度函数 f^k的比重。

考虑到熵值减小对系统的有益性，结合指标的越大越优或越大越劣的性质，本研究将熵值的计算过程做相应的修正，具体步骤如下：根据指标极性，修正较小指标值所对应的熵值计算过程。计算方法见下式：

$$S_x^{'}=2S_{mid}-S_x \quad （6）$$

式中：x代表要修正的指标取值；S_x代表原熵值；$S_x^{'}$代表修正后的熵值；S_{mid}代表该指标良、中两个标准分界值对应的熵值。

用上述方法修正后得到的熵值曲线，不管对于原始数值越大越优，或者越大越劣的指标，均表现为越大越劣。这样以来，就在指标值的优劣性和对系统产生熵增熵减的效应之间，建立了正向相关的联系。信息熵就可以作为一个当量，统一系统中所有指标的量纲和单位，并直接量化每个指标对系统发展产生的影响。

（2）熵权法

针对整个系统，都可以算出每个指标的信息熵权重，进而判断流域巨系统中哪一个或者几个指标对系统的有序度贡献最大，即最重要。信息熵是信息量和不确定性的度量，某指标带来的信息量越大，熵值越低，不确定性就越低，也就可以赋予其较大的权重。利用这种方法计算指标权重更为科学，避

免了不同专家主观判断权重带来的差异。熵权法更大的意义在于，随着各指标信息熵值的变化，每个指标在系统中的权重也随之变化，这些指标相互作用，动态互动，就可以实时监测指标在系统中的重要性的变化，这和系统治理的观点十分契合。

基于每个指标 $i\ (i=1,2,\cdots,n)$ 的信息熵值 S_i，其权重 w_i 用下式求得：

$$w_i=\frac{1-S_i}{N-\sum_{i=1}^{N}S_i} \tag{7}$$

将各指标的熵值和权重加权求和，即可算出此河流系统的总熵，公式如下：

$$S_{total}=\sum_{i=1}^{n}(S_i\cdot w_i) \tag{8}$$

式中：S_{total} 为河流系统的总熵。

（3）河流健康指数

河流健康指数（River Health Index，简称RHI）：从河流健康发展的角度，综合分析洪水、泥沙、水资源等相关因素，评价河流系统健康状况。黄河流域河流健康指数涵盖了各个河流健康因子的信息，能够表征黄河流域河流总体健康状况。黄河流域河流健康指数由下式求得。

$$RHI=\left(1-\sum_{i=1}^{n}(S_i\cdot w_i)\right)\cdot 100 \tag{9}$$

3 结果与讨论

考虑黄河流域水沙特性及水资源供需特点，将河流健康因子划分为优、良、中、差四个等级。河流健康因子阈值确定的依据：国家标准、规范或者规程；参考国内外普遍认可的指标标准；参考国家关于某些指标的发展规划值，或发达国家、地区的指标实际值，结合相关理论分析确定指标标准；通过类比方法，参照相近研究方向的参考文献和现有研究成果，结合研究区域的特点确定。各河流健康因子阈值如下表2。

表2　黄河流域各河流健康因子阈值

编号	指标	优	良	中	差
1	年降水总量（亿m^3）	>3800	3400-3800	3000-3400	0-3000
2	花园口总水量（亿m^3）	>340	260-340	183-260	0-183
3	水沙关系协调度	1-10	0-1	-1-0	(-10)-(-1)
4	头道拐总水量（亿m^3）	>240	160-240	120-160	0-120
5	来沙量（亿m^3）	0-4	4-6.2	6.2-9	>9
6	宁蒙河段主河槽过洪能力（m^3/s）	>2700	1800-2700	1400-1800	0-1400
7	黄河下游主河槽过洪能力（m^3/s）	>6800	5800-6800	4000-5800	0-4000
8	宁蒙河段总冲淤量（亿m^3）	<0	0-0.5	0.5-1	>1
9	黄河下游总冲淤量（亿m^3）	<0	0-1	1-2	>2

基于信息熵理论，编程求解黄河流域各河流健康因子的熵值，计算各河流健康因子的熵权，进而求解河流健康指数的熵值，计算结果如下图2。

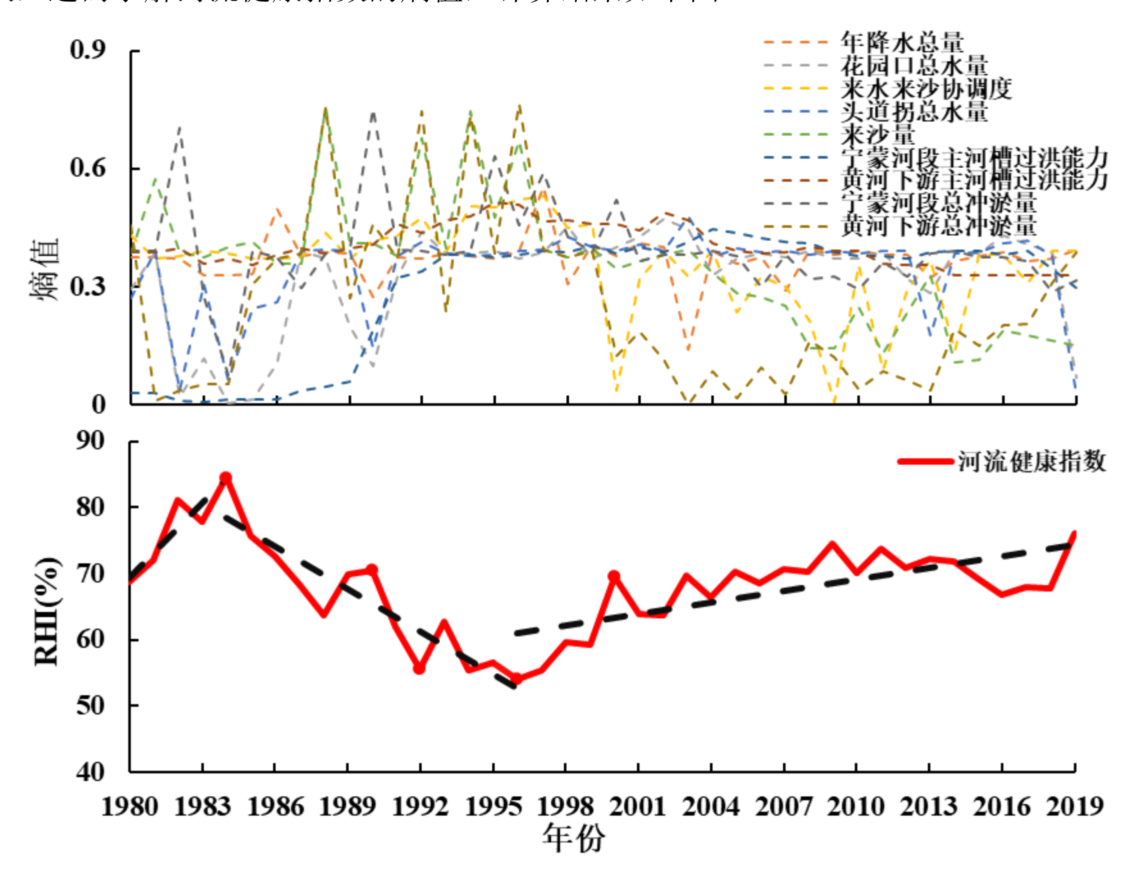


图 2　河流健康因子和河流健康指数熵值序列

由上图2熵值计算结果可得，各河流健康因子的熵值随时间变化特性不一；同一时期内，不同河流健康因子的熵值差别较大。总体表现为：1986年以前整体较低，1987年~1999年期间整体较高，21世纪以来整体较低。河流健康指数总体表现为：1986年以前整体较高，1987年~1999年期间整体较低，21世纪以来整体较高。相应地，将河流系统分三个发展阶段：1980年~1986年、1987年~1999年、2000年~2019年。

阶段一，1986年以前，黄河流域经济社会发展程度较低，人类活动对河流系统的干预较少，黄河流域河流系统健康程度较高。其中，宁蒙河段主河槽过洪能力的熵值最小，宁蒙河段总冲淤量、来沙量、年降水总量呈现出个别年份熵值较大的现象。河流健康指数熵值总体较高，表现为健康。

阶段二，1987年~1999年期间，随着流域经济社会的快速发展，河流系统总体表现为不健康。其中，宁蒙河段主河槽过洪能力和花园口总水量的熵值最小，黄河下游总冲淤量、来沙量的熵值较大，来沙较多，河道淤积严重，导致河流不健康。河流健康指数熵值总体较低，表现为不健康。

阶段三，21世纪以来，随着黄河流域水工程体系的不断完善，黄河流域调控手段不断丰富，调蓄能力逐渐增强，整个河流系统又向着有序、健康的方向发展，现阶段仍表现为不健康。其中，黄河下游总冲淤量、来沙量、水沙关系协调度的熵值最小。河流健康指数熵值总体较高，并且呈现出下降的趋势，表现为趋于健康的方向发展。

从河流健康指数总体变化趋势来看，1980~1984年河流系统向好发展，河流系统健康在1984年达到顶峰；1984年以来，人类社会发展迅速，人类活动对河流系统的干预越来越

强烈，1984~1996年河流系统呈现出越来越不健康的趋势，人类社会的农业、工业发展向黄河流域索取越来越多的水资源，致使1995年黄河全年断流高达122天，河流系统在1996年呈现出最不健康的状态；1996年以来，随着水工程建设越来越完善，水资源调蓄能力越来越强，加之流域节水意识逐渐增强，1996~2019年河流系统又呈现出向好发展。

分析河流健康指数序列的突变点，1990年河流系统向健康方向发展，由于1989年黄河下游引水量较大，河流系统趋势向好。1992年黄河断流现象加剧，利津断面断流82天，河流系统呈现出不健康状态。2000年河流系统向健康方向发展，并且2000年以来持续向好，主要原因是2000年小浪底蓄水调控以来，大大改善了河流系统健康状况，河流系统持续向好发展。

基于熵权法求解黄河流域各河流健康因子的权重，绘制河流健康因子权重演变柱状图，如下图3所示。

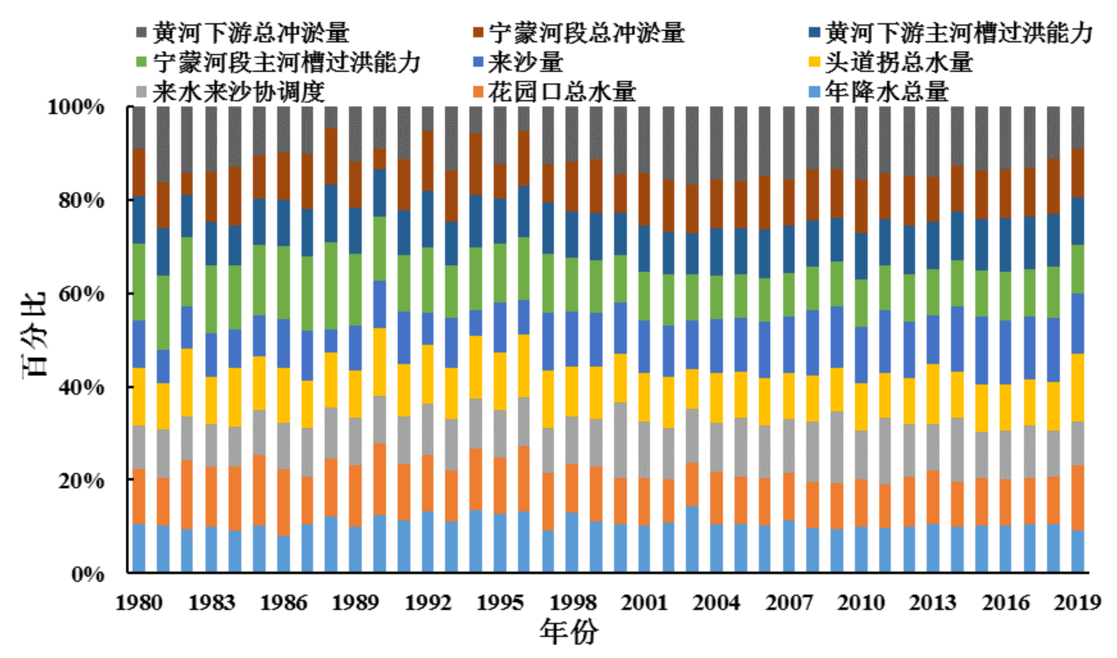


图 3　河流健康因子权重演变柱状图

根据黄河流域河流健康因子的熵权计算结果，分析河流系统各个健康因子的敏感性如下。

1986年以前，宁蒙河段主河槽过洪能力熵权最大的年份最多，对河流系统的贡献最大，为该时期黄河流域河流系统的敏感因子。经分析知，该时期宁蒙河段主河槽过洪能力较大，防洪能力较强，洪水威胁较小，河流系统表现为健康。

1987年~1999年期间，宁蒙河段主河槽过洪能力和花园口总水量熵权最大的年份最多，对河流系统的贡献最大，为该时期黄河流域河流系统的敏感因子。经分析知，龙羊峡水库1986年投入运行以来，汛期进入到下游的水量减少，导致宁蒙河段主河槽淤积萎缩，过洪能力降低，花园口总水量较之前也大幅减少，导致花园口以下可利用水资源量减少，宁蒙河段主河槽过洪能力和花园口总水量是河流系统不健康的主导因子。

21世纪以来，黄河下游总冲淤量和来沙量熵权最大的年份最多，对河流系统的贡献最大，为21世纪以来黄河流域河流系统的敏感因子。经分析知，小浪底水库2000年投入运行以来，在黄河流域特别是黄河下游调水调沙发方面挥了巨大的作用，再加上21世纪以来，随着淤地坝建设、植树造林等水土保持工程的不断完善，黄河流域来沙量总体减少，水沙关系协调度更高，黄河下游总淤积量持续减少，河流系统呈现出向健康方向发展。

总体来看，自1980年统计以来，黄河下游总冲淤量和宁蒙河段主河槽过洪能力熵权最大的年份最多，对河流系统的贡献最大，为黄河流域河流系统的敏感因子。由熵值序列图可以看出，河流健康指数熵值与黄河下游总冲淤量和宁蒙河段主河槽过洪能力熵值的变化趋势相近，随着黄河下游总冲淤量和宁蒙河段主河槽过洪能力的变化而变化。

4 结论

（1）黄河流域河流健康诊断分为3个阶段。阶段一在1980年~1986年，人类活动对河流系统的干预较少，黄河流域河流系统总体趋于健康状态。阶段二在1987年~1999年期间，流域经济社会快速发展，河流系统总体表现为不健康。阶段三在2000年~2019年，随着黄河流域水工程体系的不断完善，黄河流域调控手段不断丰富，调蓄能力逐渐增强，整个河流系统又向着有序、健康的方向发展。

（2）黄河流域河流系统发展演变趋势可分为3个时期。1980年~1984年河流系统向好发展，1984年~1996年河流系统呈现出越来越不健康的趋势，1996年~2019年河流系统呈现出向好发展态势。

（3）1986年以前河流系统敏感因子为宁蒙河段主河槽过洪能力，1987年~1999年期间敏感因子为宁蒙河段主河槽过洪能力和花园口总水量，21世纪以来敏感因子为黄河下游总冲淤量和来沙量。黄河下游总冲淤量和宁蒙河段主河槽过洪能力为整个时期的敏感因子。

参考文献：

[1] 高凡，蓝利，黄强. 变化环境下河流健康评价研究进展[J]. 水利水电科技进展，2017，37(6)：81-87.

[2] 王慧敏，郝祥云，朱仲元. 基于干旱指数与主成分分析的干旱评价——以锡林河流域为例[J]. 干旱区研究，2019，36(1)：95-103.

[3] 张维今，王安赢. 基于因子分析法的零售业上市公司财务绩效评价[J]. 沈阳大学学报（社会科学版），2020，22(2)：182-186，195.

[4] 韩轶华，刘艳红. 基于综合评价指数法的城市道路绿化植物景观配置评价研究——以运城市盐湖区为例[J]. 林业调查规划，2019，44(3)：213-219，225.

[5] 曹磊，朱丽衡，霍艳虹. 基于模糊综合评价法的城市公园环境安全评价——以唐山市南湖公园为例[J]. 风景园林，2020，27(3)：80-85.

[6] 赵健. 河南省境内上市公司经营业绩评价研究——基于灰色关联度评价理论的探析[J]. 郑州轻工业学院学报（社会科学版），2016，17(1)：102-108.

[7] 徐广波，轩少永，尤庆华. 基于熵权的模糊集对模型在港口水域通航风险评价中的应用[J]. 上海海事大学学报，2012，33(1)：7-11.

[8] 瞿茜，蔡春凤，吴映雪. 基于数据包络分析的2017年武汉市卫生资源配置和服务利用效率评价研究[J]. 预防医学情报杂志，2020，36(2)：133-136，141.

[9] 张强，钱建明. 用多维标度法评价中国少数民族人口素质[J]. 中国卫生统计，1993，10(6)：1-4.

[10] 李素红，方洁，尹志军，苗静谦. 基于改进突变级数法的河北省养老地产开发适宜性评价与障碍因子诊断[J]. 世界地理研究，2020，29(2)：378-387.

[11] 牛蒙蒙，铁铎，韩伟，谭智，秦波，褚恒. 基于改进型拉开档次法的数控机床综合性能评价[J]. 制造技术与机床，2020，(2)：27-30.

[12] 路霞. 基于ELECTRE III的古迹遗址展示利用综合评价研究[D]. 西安：西安建筑科技大学，2019.

[13] 季诚杰. 基于德尔菲法的贵州省基层医疗卫生机构绩效评价指标体系构建研究[D]. 贵阳：贵州医科大学，2018.

[14] 赵梦龙，解阳阳，王义民. 榆林市黄河供水工程线路优选[J]. 人民黄河，2015，37(7)：55-58，63.

[15] 杨绮. 二元相对比较法在风险节税决策中的应用[J]. 统计与决策，2007，(4)：34-35.

[16] 阮铖巍, 寇英信, 徐安, 王琳. 基于二元模糊比较法的单步空战机动决策研究[J]. 指挥控制与仿真, 2012, 34(5): 10-13.
[17] Li Lixu, Li Yina, Ye Fei, Zhang Li. Carbon dioxide emissions quotas allocation in the Pearl River Delta region: Evidence from the maximum deviation method [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 177: 207-217.
[18] 刘淑茹, 魏晓晓. 基于改进CRITIC法的西部地区新型城镇化水平测度[J]. 生态经济, 2019, 35(7): 98-102.
[19] 张俊光, 宋喜伟, 杨双. 基于熵权法的关键链项目缓冲确定方法[J]. 管理评论, 2017, 29(1): 211-219.
[20] 张金良, 练继建, 张远生, 罗秋实. 黄河水沙关系协调度与骨干水库的调节作用[J/OL]. 水利学报. https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxb.20200023.
[21] 黄晓冰, 陈忠暖. 基于信息熵的地铁站点商圈零售业种结构的研究——以广州15各地铁站点商圈为例[J]. 经济地理, 2014, 34(3): 38-44.
（通讯作者：金鑫 E-mail: xin.obor@qq.com）

Health Diagnosis of River System in the Yellow River Basin Under Changing Environment

ZHANG Jinliang，JIN Xin*，ZHAO Menglong，LUO Qiushi，LU Jun
(Yellow River Engineering Consulting Co.，Ltd.，Zhengzhou 450003，China)
Abstract: The Yellow River is the mother river of Chinese nation. In recent years, the inflow and sediment of the Yellow River have decreased, with extreme climate events occurred frequently, the boundary conditions have changed greatly. As the rapid economic and social development, it is necessary to carry out river health diagnosis under the changing environment. This research adopted information entropy and entropy weight methods to study the evolution characteristics of the healthy development of the Yellow River basin. Results showed that: (1) The river system presented healthy in 1980~1986, unhealthy in 1987~1999 and sub-healthy in 2000~2019. (2) The river system showed a healthier trend within 1980~1984, an increasingly unhealthy trend in 1984~1996, while following a good development trend in 1996~2019. (3) The flood discharge capacity of the main channel of the Ningxia-Inner Mongolia reach and the total amount of erosion and deposition in the downstream are the most sensitive factors.
Key words: river system; river health index; information entropy; entropy weight method; Yellow River basin

作者贡献声明：

张金良：提出研究思路，设计研究方案；
金鑫：采集、清洗和分析数据；
赵梦龙：论文起草；
罗秋实，鲁俊：论文最终版本修订。